DOI:10.11931/guihaia.gxzw201811007

砧用瓠瓜抗枯萎病相关性及杂种优势分析

廖建杰，张映卿，徐博娅，郑旭阳，阳燕娟，钟川，于文进*

（广西大学 农学院，南宁 530004）

摘要：枯萎病是一种严重危害瓜类蔬菜生产的土传病害，嫁接栽培是防治瓜类枯萎病的有效方法。本研究砧用瓠瓜种质幼苗生长指标与抗病性的相关性，并对抗病杂种优势进行分析，为筛选具有优良抗病性的砧用瓠瓜种质和选育杂交组合提供理论依据。结果表明：砧用瓠瓜种质 H041 对西瓜枯萎病表现高抗（HR），对瓠瓜枯萎病表现抗病（R），种质 H01、H05 和杂交组合 H01×H041、H041×H05、H05×H041 对两种枯萎病均表现抗病（R）。砧用瓠瓜幼苗接种西瓜枯萎病菌后，病情指数与下胚轴粗度呈显著负相关；接种瓠瓜枯萎病菌后，总根长、根系表面积与病情指数呈极显著负相关，表明砧用瓠瓜对枯萎病的抗病性与根系生长具有相关性，可以根据根系生长情况快速评价砧用瓠瓜对瓠瓜枯萎病的抗性表现。分析砧用瓠瓜杂交组合的抗病性杂种优势显示，供试杂交组合 H05×H041 对西瓜枯萎病具备超中亲优势；杂交组合 H01×H041、H02×H041、对瓠瓜枯萎病抗性具有负向杂种优势。综合研究结果，砧用瓠瓜种质、H041、H05 兼抗西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病，且配制出的杂交组合表现抗性杂种优势，可作为选育抗两种枯萎病的砧木或栽培品种的抗源亲本，其中 H041 可作为优势骨干亲本。

关键词：砧用瓠瓜，西瓜枯萎病，瓠瓜枯萎病，抗病相关性，杂种优势

中图分类号：　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

Analyses of *Fusarium wilt* resistance correlation and heterosis in bottle gourd rootstock

LIAO Jianjie, ZHANG Yingqing, XU Boya, ZHENG Xuyang, YANG Yanjuan, ZHONG Chuan, YU wenjin*

(*College of Agriculture, Guangxi University,* Nanning 530004, China)

Abstract: *Fusarium wilt* is a devastating soil-borne disease which had limited the production of gourd vegetables. Grafting cultivation is an effective method to control *F. wilt*. In order to obtain bottle gourd germplasm with strong disease resistance and select cross combinations, the correlation between seedling growth index and disease resistance was discovered, and the heterosis of disease resistance was analyzed. Results showed that: Bottle gourd germplasm H041 showed high resistance (HR) to watermelon *F. wilt* and resistance (R) to clavated calabash *F. wilt,* respectively. And two bottle gourd germplasm (H01 and H05) and three hybrid combinations (H01×H041, H041×H05 and H05×H041) showed resistance (R) to both *F. wilt*. The disease index of bottle gourd seedlings was significant negative correlated with hypocotyl coarseness after treating with watermelon *F. wilt.* And the root length and root surface area of the seedlings were significantly negatively correlation with disease index after treating with clavated calabash *F. wilt*.

基金项目：国家自然科学基金（31660568）；广西科技重大专项（桂科AA17204039-2， AA17204026-1）[Supported by the National Natural Science Foundation of China (31660568); Guangxi Major Program of Science and Technology (AA17204039-2, AA17204026-1)]。

作者简介：廖建杰（1992-），男，广西南宁市人，硕士研究生，蔬菜遗传育种与生物技术（E-mail）569082230@qq.com。

***通信作者：**于文进，博士，教授，蔬菜种质资源鉴定评价与抗性遗传育种研究（E-mail）yuwjin@gxu.edu.cn。

This indicated that the resistance of the disease was correlated with root growth. The resistance of the disease could be evaluated rapidly according to root growth. Furthermore, the disease-resistance hybrid heterosis of bottle gourd germplasm showed that, Hybrid combination H05×H041 showed negative mid-parent heterosis to watermelon *F. wilt*. H01×H041, H02×H041, H041×H01 and H05×H041 showed negative heterosis for resistance to clavated calabash *F. wilt*. In conclusion, bottle gourd germplasm H01, H041 and H05 showed resistance against both *F. wilt*. And there is resistance heterosis on the hybrid combinations of these germplasm. Hence, H01, H041 and H05 could be used as rootstock or elite parents for resistance breeding against two kinds of *F. wilt*, and H041 could be used as the backbone parent.

Key word: bottle gourd rootstock, watermelon *F. wilt*, clavated calabash *F. wilt*, disease resistance correlation, heterosis

瓠瓜[*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.]又称瓠子、蒲瓜等，为葫芦科葫芦属，原产于非洲和印度，是一年生攀缘草本植物，在我国大部分地区普遍栽培，是我国重要的瓜菜之一（胡雪丹等，2016；张兆辉等，2017）。由于瓠瓜根系发达，抗病性好，常作为葫芦科作物嫁接砧木（孙胜等，2010），并广泛应用于西瓜嫁接栽培（别之龙，2011；陈晖等，2015；邢乃林等，2016）。

西瓜枯萎病病原菌为尖孢镰刀菌西瓜专化型（*F. oxysporum* Schl. f. sp. *Niveum* (E.F.Smith) Snyder et Hansen），浸染西瓜后引起植株萎蔫、生长受限，进而整株枯萎死亡，对西瓜生产造成严重损失（寇清荷等，2012）。瓠瓜枯萎病病原菌为尖孢镰刀菌葫芦专化型（*F. oxysporum* Schl. f. sp. *lagenariae* Matuo et Yamamoto），侵染植株后导致输导机能被破坏而引起植株萎蔫，最终枯萎死亡，田间植株发病率可达 20 %-40 %，可造成毁灭性损失（王迪轩等，2018）。西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病均属于土传真菌病害，采用抗病的瓠瓜和南瓜为嫁接砧木，可提高接穗的抗病性，显著降低发病率和病情指数（徐敬华等，2004；李修宝等，2015）。陈文明（2016）的研究表明，可采用变异统计和主成分分析法对幼苗性状进行综合评价，筛选抗病的砧用瓠瓜杂交组合。瓠瓜砧木嫁接西瓜对枯萎病的抗性表现可根据嫁接苗的生长指标和生理指标进行快速鉴定（鲍婉雪等，2017）。

本试验通过鉴定砧用瓠瓜种质资源对西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的抗性，研究砧用瓠瓜种质的幼苗生长指标与枯萎病抗性间的关系，筛选出抗病种质，配制具有抗病杂种优势的杂交组合，为开展多抗性砧木育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

选择 8 份不同果型的砧用瓠瓜高代自交系和 8 个杂交组合作为供试材料。种质 H01、H02、H041、H05、H07、H11T、H13 来源日本，Hb 来源广西。果实形状 H01、H041、H07、Hb 为梨形，H02、H11T、H13 为近圆形，H05 为倒棍棒形；瓜把形状 H01、H07、Hb 为钝圆形，H02、H041、H05 为溜肩，H11T、H13 为阔圆形，果实表面均无瓜棱。

供试的病原菌为尖孢镰刀菌西瓜专化型 2 号生理小种和尖孢镰刀菌葫芦专化型，由本课题组分离、保存作为接种源。



图 1 供试砧用瓠瓜种质资源的果实形状

Fig. 1 The fruit characters of rootstock-used gourd germplasm resources

1.2 方法

1.2.1 田间种植

在广西大学蔬菜科研基地分春秋两季连续种植砧用瓠瓜种质资源两年，选取亲本 H01、H02、H041、H05 配制若干杂交组合，以亲本最优值作为杂种优势分析对照标准品种。参考农业行业标准（NY/T2504-2013）《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 瓠瓜》观测株高、下胚轴粗度等幼苗性状和果实性状。

1.2.2 西瓜枯萎病接种

用 21 孔穴盘播种砧用瓠瓜，待植株长至两叶一心时，采用室内苗期伤根灌注法进行接种西瓜枯萎病病原菌（羊杏平等 2013）。菌液浓度为 1×10^{7} cfu·mL^{-1} ，每株灌注 10 mL 菌液。每份种质和杂交组合分别接种 42 株，三次重复。接种室控制每天光照 16 h，暗期 8 h，光照强度 8000 lx，光期/暗期温度控制 27 ℃/20 ℃，相对湿度 70 %-80 %。接种后 28 d，参考王汉荣等（2010）的方法，观察并统计植株的病级和病情指数。参考《全国西瓜抗病育种协作组的统一规定》进行抗性分级，病情指数 DI ≤10.00 为高抗（HR），10.00<DI ≤30.00 为抗病（R），30.00<DI ≤50.00 为中抗（MR），50.00<DI ≤60.00 为中感（MS），60.00<DI ≤80.00 为感病（S），80.00<DI ≤100.00 为高感（HS）。

1.2.3 瓠瓜枯萎病接种

参考农业行业标准（NY/T2504-2013）《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 瓠瓜》接种瓠瓜枯萎病病原菌。接种方法和环境控制与西瓜枯萎病相同，菌液浓度 1×10^{6} cfu·mL^{-1}。抗病水平评价标准分为抗病（DI ≤25），中抗（20<DI ≤55），感病（DI >55）。

1.2.4 幼苗生长指标测定

接种病原菌后 28 d 取样，各编号随机选取 5 株测定其生长指标，取平均值。直尺测量株高，游标卡尺测量下胚轴粗，采用方正扫描仪（Founder Z2400）和根系分析软件（WinRHIZO

2009c）测量总根长和根系表面积（尹晓霞 2014）。

1.3 统计分析

利用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 18.0 软件进行数据的处理及作图，采用 Duncans multiple-range test（P=0.01 和 P=0.05）进行相关性和多重比较分析。杂种优势分析参考卢庆善（2002）的方法。

2 结果与分析

2.1 砧用瓠瓜种质接种西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的幼苗生长及抗病性表现

砧用瓠瓜幼苗接种西瓜枯萎病菌 28 d，各生长指标差异显著（表 1）。其中，H01 株高最大（43.26 cm），H13 最小（17.12 cm）；H05 的下胚轴最粗（7.44 mm）；H05 的总根长和根系表面积最大，分别为 459.65 cm、89.35 cm²。H041 对西瓜枯萎病表现为高抗（HR），H01、H05、H07、H11T、Hb 等 5 份种质表现为抗病（R），H02、H13 表现中抗（MR）。

接种瓠瓜枯萎病菌 28 d，砧用瓠瓜幼苗各生长指标差异显著（表 2）。株高、下胚轴粗度最大的均为 H01（32.86 cm、7.12 mm）；总根长和根系表面积差异显著，其中，H05 最大（657.28 cm、135.21 cm²），H02 最小（161.71 cm、27.91 cm²）。H01、H041、H05 等 3 份种质对瓠瓜枯萎病表现抗病（R），2 份种质（H07、H13）表现中抗（MR），H02、H11T、Hb 表现感病（S）。

表 1 砧用瓠瓜种质接种西瓜枯萎病后的幼苗生长指标和抗病性表现

Table 1 Morphological index of rootstock-used gourd germplasm resources after inoculating watermelon *Fusarium wilt*

编号 Code	株高 Plant height（cm）	下胚轴粗度 Stem width（mm）	总根长 Total root length（cm）	根系表面积 Surface area of root（cm²）	病情指数 Disease index	抗病水平 Resistance
H01	43.26±3.95 a	7.13±0.36 a	400.37±44.13 b	66.64±4.36 b	14.29	R
H02	26.42±4.73 b	6.36±0.51 bc	258.24±32.55 cde	52.95±5.23 cd	32.86	MR
H041	18.52±3.11 cd	7.39±0.40 a	232.71±28.23 de	50.72±7.43 cd	7.14	HR
H05	27.32±4.76 b	7.44±0.47 a	459.65±40.60 a	89.35±9.84 a	21.43	R
H07	17.12±3.04 cd	6.37±0.56 bc	290.37±40.56 c	60.38±8.20 bc	15.24	R
H11T	27.68±3.02 b	6.09±0.32 bc	268.49±20.82 cd	53.97±6.63 cd	22.38	R
H13	19.26±2.66 c	5.89±0.30 c	217.22±27.26 e	45.22±7.51 d	32.38	MR
Hb	14.26±1.81 d	6.55±0.46 b	231.74±30.88 de	51.00±10.50 cd	19.05	R

表 2 砧用瓠瓜种质资源接种瓠瓜枯萎病后的形态指标

Table 2 Morphological index of rootstock-used gourd germplasm resources after inoculating clavated calabash *Fusarium wilt*

编号 No.	株高 Plant height（cm）	下胚轴粗度 Stem width（mm）	总根长 Total root length（cm）	根系表面积 Surface area of root（cm²）	病情指数 Disease index	抗病水平 Resistance
H01	32.86±6.85 a	7.12±0.28 a	496.93±33.10 b	110.43±10.20 b	10.32	R
H02	27.96±2.87 b	5.55±0.22 d	161.71±14.99 f	27.91±5.71 f	64.29	S
H041	18.62±3.23 de	6.71±0.35 ab	387.80±12.85 c	77.34±3.87 c	19.05	R
H05	23.26±1.26 bcd	7.10±0.06 a	657.28±22.01 a	135.21±4.26 a	11.11	R
H07	19.72±4.82 d	6.65±0.19 ab	346.66±19.92 d	75.57±11.31 c	50.79	MR
H11T	25.96±2.40 bc	6.00±0.44 cd	162.51±8.89 f	28.05±6.44 d	75.40	S

H13	21.8±2.08 cd	6.45±0.58 bc	327.02±34.50 d	63.40±9.53 d	39.68	MR
Hb	14.04±2.00 e	6.63±0.48 ab	265.91±21.87 e	47.09±3.69 e	57.94	S

2.2 砧用瓠瓜种质接种西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的幼苗生长与病情指数的相关性

接种西瓜枯萎病菌 28 d，砧用瓠瓜幼苗的总根长与根系表面积存在极显著正相关，病情指数与幼苗下胚轴粗度呈显著负相关，说明茎部生长与西瓜枯萎病抗病性存在相关性（表3）。

接种瓠瓜枯萎病菌 28 d，砧用瓠瓜幼苗的下胚轴粗度、总根长、根系表面积相互之间均存在呈极显著正相关，病情指数与下胚轴粗度呈显著负相关，与总根长、根系表面积呈极显著负相关（表 3），说明砧用瓠瓜茎部和根系的生长与抗病性强弱相关，茎部和根系生长越好，病情指数越低，抗病性越强。

表 3 接种西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病后砧用瓠瓜幼苗形态指标和病情指数的相关性

Table 3 Correlation between morphological index and disease index of rootstock-used gourd germplasm resources after inoculating watermelon *Fusarium wilt* and clavated calabash *F. wilt*

	西瓜枯萎病 watermelon *F. wilt*				瓠瓜枯萎病 clavated calabash *F. wilt*			
	株高 Plant height	下胚轴粗度 Stem width	总根长 Total root length	根系表面积 Surface area of root	株高 Plant height	下胚轴粗度 Stem width	总根长 Total root length	根系表面积 Surface area of root
下胚轴粗度 Stem width	0.302				-0.117			
总根长 Total root length	0.660	0.620			0.097	0.876**		
根系表面积 Surface area of root	0.437	0.637	0.958**		0.157	0.883**	0.994**	
病情指数 Disease index	-0.048	-0.753*	-0.321	-0.341	-0.173	-0.824*	-0.910**	-0.914**

注：**表示在 0.01 水平上极显著相关，*表示在 0.05 水平上显著相关。

Note： ** Indicate very significant correlation at 0.01 level， * Indicate significant correlation at 0.05 level.

2.3 砧用瓠瓜杂交组合对西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的抗性表现

用 4 份砧用瓠瓜种质（H01、H02、H041、H05）配置出 8 个杂交组合，其抗病性鉴定结果见表 4，对西瓜枯萎病表现抗病（R）和中抗（MR）的组合各 4 个；对瓠瓜枯萎病抗性表现抗病（R）的组合 6 个，中抗（MR）的组合 2 个。其中，有 3 个组合对两种枯萎病均表现抗病（R），分别是 H01×H041、H041×H05、H05×H041，占供试材料 37.5 %，其余 5 个组合对两种枯萎病具有一定抗性，说明这些杂交组合对这两种病害具有良好的抗病和耐病能力。

表 4 砧用瓠瓜杂交组合对西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的抗性表现

Table 4 Resistance to *Fusarium wilt* of rootstock-used hybrid gourd germplasm resources

杂交组合（♀×♂） Hybrid combinations	西瓜枯萎病 watermelon *F. wilt*		瓠瓜枯萎病 clavated calabash *F. wilt*	
	病情指数	抗病水平	病情指数	抗病水平

	Disease index	Resistance	Disease index	Resistance
H01×H02	45.23	MR	18.94	R
H01×H041	28.09	R	6.84	R
H02×H01	23.81	R	29.36	MR
H02×H041	48.09	MR	4.55	R
H041×H01	40.47	MR	9.52	R
H041×H02	46.66	MR	30.95	MR
H041×H05	20.47	R	13.82	R
H05×H041	13.81	R	8.73	R

2.4 砧用瓠瓜对西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的抗性杂种优势

接种西瓜枯萎病菌后，不同杂交 F_1 代的病情指数大小差异明显，其中组合 H05×H041 的病情指数最低，为 13.81，低于中亲值（两亲本的病情指数平均值），表现负向中亲优势，说明其抗性杂种优势最强。其他供试组合的病情指数均高于中亲值，因此表现明显的正向杂种优势，不具有抗性杂种优势（表 5）。

表 6 显示杂交 F_1 代对瓠瓜枯萎病的抗性杂种优势。所有参试的 8 个组合的病情指数均低于中亲值，表现负向中亲优势，中亲优势率范围：-89.08 % - -8.36 %。其中，以 H041 为父本或母本的 4 个组合（H01×H041 、H02×H041、H041×H01、H05×H041）的病情指数均低于最优抗病亲本 H01 的病情指数，且均表现负向超高亲优势和负向超标优势，说明抗性杂种优势强。另外 2 个组合（H01×H02、H041×H05）也表现负向超标优势。H02×H041 组合的负向中亲优势率、超高亲优势率、超标优势率最高，分别为-89.08 %、-76.12 %、-55.91 %。以上结果说明，H041 可作为抗枯萎病的优势骨干亲本。

表 5 砧用瓠瓜对西瓜枯萎病的抗性杂种优势

Table 5 Analysis of heterosis of resistance to watermelon *Fusarium wilt*

杂交组合（♀×♂） Hybrid combinations	病情指数 Disease index	中亲值 MP	高亲值 HP	中亲优势率 MPH（%）	超高亲优势率 OPH（%）	超标优势率 OSH（%）
H01×H02	45.23	23.58	14.29	91.86	216.52	533.47
H01×H041	28.09	10.72	7.14	162.16	293.42	293.42
H02×H01	23.81	23.58	14.29	1.00	66.62	233.47
H02×H041	48.09	20.00	7.14	140.45	573.53	573.53
H041 ×H01	40.47	10.72	7.14	277.69	466.81	466.81
H041 ×H02	46.66	20.00	7.14	133.30	553.50	553.50
H041 ×H05	20.47	14.28	7.14	43.35	186.69	186.69
H05×H041	13.81	14.28	7.14	-3.29	60.08	60.08

表 6 砧用瓠瓜对瓠瓜枯萎病的抗性杂种优势

Table 6 Analysis of heterosis of resistance to clavated calabash *Fusarium wilt*

杂交组合（♀×♂） Hybrid combinations	病情指数 Disease index	中亲值 MP	高亲值 HP	中亲优势率 MPH（%）	超高亲优势率 OPH（%）	超标优势率 OSH（%）
H01 × H02	18.94	37.31	10.32	-49.23	83.53	83.53
H01 ×H041	6.84	14.69	10.32	-53.42	-33.72	-33.72
H02× H01	29.36	37.31	10.32	-21.30	184.50	184.50

H02 × H041	4.55	41.67	19.05	-89.08	-76.12	-55.91
H041× H01	9.52	14.69	10.32	-35.17	-7.75	-7.75
H041 ×H02	30.95	41.67	19.05	-25.73	62.47	199.90
H041 ×H05	13.82	15.08	11.11	-8.36	24.39	33.91
H05 × H041	8.73	15.08	11.11	-42.11	-21.42	-15.41

3 讨论与结论

尖孢镰刀菌西瓜专化型2号生理小种致病力强，对西瓜易造成严重危害，生产上多数选用瓠瓜作为嫁接砧木防治西瓜枯萎病，该病原菌不仅对西瓜具有较强的侵染了，对瓠瓜也具有侵染性（Lin et al.，2010；King R et al.，2010；Su et al.，2012；孟佳丽等，2018）。目前，对西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病均具有抗性的砧用瓠瓜品种还未见有报道。本研究鉴定出抗西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的砧用瓠瓜种质3份，其中，H041对西瓜枯萎病表现高抗，对瓠瓜枯萎病表现抗病，H01、H05对两种枯萎病均表现抗病。同时，筛选出兼抗两种枯萎病的3个杂交组合（H01×H041、H041×H05、H05×H041）。说明砧用瓠瓜对西瓜枯萎病具有较强的抗性，但对瓠瓜枯萎病的病情指数、抗性水平均存在差异。

侯茜等（2015）研究西瓜抗病品种幼苗接种西瓜枯萎病菌后根系的苯丙氨酸解氨酶（PAL）、多酚氧化酶（PPO）、几丁质酶（CHT）等的活性与抗病性呈正相关，并且PAL、PPO等的活性可作为反映西瓜种质对西瓜枯萎病抗性的指标。郭卫丽等（2016）对抗病和感病的两种中国南瓜在白粉病抗性鉴定的研究中得出，在不同时期的幼苗性状与病情指数间存在相关性。本研究探讨了西瓜枯萎病菌和瓠瓜枯萎病菌侵染条件下，砧用瓠瓜幼苗的病情指数与生长指标的相关性，结果进一步说明：砧用瓠瓜幼苗接种西瓜枯萎病菌后，植株下胚轴粗与抗病表现呈显著负相关，但其余生长指标无相关性，说明砧用瓠瓜对西瓜枯萎病的抗病性采用生长指标进行快速鉴定有待进一步研究。相反，在接种瓠瓜枯萎病菌后，除株高外，其余生长指标与抗病性表现呈现负相关，说明砧用瓠瓜植株的根系生长强弱能够直接反映地上部生长势，并表现出较强的抗病性。因此，下胚轴粗度、总根长、根系表面积作为砧用瓠瓜对瓠瓜枯萎病抗性表现评价指标是可行的，同时可避免通过表型观测造成植株病情分级的误差。

该试验表明，大多数杂交组合对西瓜枯萎病具有不同程度的抗性表现，其中，组合H05×H041表现负向中亲优势，其余组合病情指数多高于双亲，并没有表现出较强的杂种优势，此研究结果与陈文明（2016）对砧用瓠瓜杂交一代对西瓜枯萎病的抗性杂种优势分析的研究结果相一致。相反，参试组合对瓠瓜枯萎病均表现出较强的抗性，且多倾向于高值亲本，甚至高于亲本值。所有组合的抗性均表现负向中亲优势，其中以H041为父母或母本的4个组合（H01×H041 、H02×H041、 H041×H01、H05×H041）表现出负向超高亲优势和负向超标优势。说明砧用瓠瓜杂交F_1代对瓠瓜枯萎病抗性表现出较强的抗病性杂种优势。砧用瓠瓜杂交F_1代对两种枯萎病抗性表现的差异，是否与病原菌侵染后植株生理反应有关联，还有待于进一步对此进行研究。

综合研究结果，砧用瓠瓜种质H01、H041、H05兼抗西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病，作为亲本配制出的杂种F_1代表现较强的抗病性杂种优势，可作为抗西瓜枯萎病和瓠瓜枯萎病的砧用瓠瓜或栽培品种的抗源亲本，其中H041可作为优势骨干亲本。

参考文献

BIE ZL, 2011. Development status and countermeasures of watermelon and melon grafting seedling industry in China [J]. Chin Cuc and Veg, 24(2): 68-71. [别之龙, 2011. 我国西瓜甜瓜嫁接育苗产业发展现状和对策[J]. 中国瓜菜, 24(2):68-71.]

BAO WX, ZHONG C, ZHAO WZ, et al., 2017. Comprehensive resistance evaluation of grafting

watermelon seedlings on different bottle gourd stocks to watermelon *Fusarium wilt* [J]. J S Agric, 48(3): 441-447. [鲍婉雪, 钟川, 赵文宗, 等, 2017. 瓠瓜砧木嫁接西瓜苗对枯萎病的抗性综合评价[J]. 南方农业学报, 48(3):441-447.]

CHEN WM, 2016. The study of diversity and resistance on watermelon *Fusarium wilt* and root-knot nematode of bottle gourd root-stocks [D]. Nanning: Guangxi University. [陈文明, 2016. 砧用瓠瓜种质资源多样性及抗西瓜枯萎病和南方根结线虫的研究[D]. 广西:广西大学.]

CHEN H, ZHOU MY, GAO QM, et al., 2015. Effects of grafting of different rootstocks on fruit quality of watermelon [J]. Agric Sci Technol New, (7): 117-128. [陈晖, 周梅英, 高秋美, 等, 2015. 不同砧木嫁接对西瓜果实品质的影响[J]. 农业科技通讯, (7):117-128.]

LI XB, REN BY, JIANG XJ, 2015. Effects of grafting on traits, disease resistance and yield of watermelon [J]. Chin Hortic Abs, (11): 46-47. [李修宝, 任宝云, 蒋学杰, 2015. 嫁接对西瓜性状、抗病性及产量的影响[J]. 中国园艺文摘, (11):46-47.]

GUO WL, GUO YY, LI XZ, 2016. Relationship between morphological index and resistance to powdery mildew in Pumpkin [J]. J Northern Hortic, (24): 104-108. [郭卫丽, 郭言言, 李新峥, 2016. 中国南瓜苗期性状与白粉病抗性的关系[J]. 北方园艺, (24):104-108.]

HOU Q, YANG XP, ZHANG M, et al., 2015. Relationship between defense enzyme activity and *Fusarium wilt* resistance in watermelon seedling roots [J]. Jiangsu J Agric Sci, 43(12): 147-149. [侯茜, 羊杏平, 张曼, 等, 2015. 西瓜幼苗根系防御酶活性变化与枯萎病抗性的关系[J]. 江苏农业科学, 43(12):147-149.]

HU XD, ZHANG M, HOU Q, et al., 2016. Induction of calli in anther culture of gourd influenced by temperature, hormone and activated carbon [J]. Jiangsu J Agric Sci, 32 (5): 1155-1161. [胡雪丹, 张曼, 侯茜, 等, 2016. 不同影响因子诱导葫芦花药愈伤组织[J]. 江苏农业学报, 32(5):1155-1161.]

KING R, DAVIS R, ZHANG X, 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae [J]. Sci Hortic, (10): 60-61.

KOU QH, LIANG ZH, WANG ZW, et al., 2012. Research progress on identifying physiologic races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* of watermelon and its disease resistance breeding [J]. Chin Veg, (14): 9-17. [寇清荷, 梁志怀, 王志伟, 等, 2012. 西瓜枯萎病菌生理小种鉴定与抗病育种研究进展[J]. 中国蔬菜, (14):9-17.]

LU QS, HUA ZT, SUN Y, 2002. Crop heterosis [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. [卢庆善, 华泽田, 孙毅, 2002. 农作物杂种优势[M]. 北京:中国农业科学技术出版社.]

MENG JL, WU SJ, WANG XW, et al., 2018. Effects of different rootstocks on watermelon growth and fruit quality [J]. J Northern Agric, 46(1): 108-114. [孟佳丽, 吴绍军, 王夏雯, 等, 2018. 不同砧木对西瓜生长以及果实品质的影响[J]. 北方农业学报, 46(1):108-114.]

SU XY, WANG Q, WANG XF, et al., 2012. Effects of medium nutrients on *Fusarium oxysporum* Schl. f. sp [J]. Agric Sci & Tec, 13(1): 162-167.

SUN S, TAN YS, LENG DD, et al., 2010. Effects of different kinds of rootstocks on economic yields and mineral nutrition contents of leaves of grafted watermelon seedlings [J]. Nut Fert Sci, 16(1): 179-184. [孙胜, 田永生, 冷丹丹, 等, 2010. 不同砧木对嫁接西瓜经济产量及叶片矿质营养含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 16(1):179-184.]

WANG HR, FANG L, REN HY, et al., 2010. Evaluation and identification of watermelon and rootstock varieties resistant to *Fusarium wilt* disease [J]. J Northern Hortic, (8): 181-183. [王汉荣, 方丽, 任海英, 等, 2010. 西瓜和砧木品种(系)抗枯萎病的鉴定与评价[J]. 北方园艺, (8):181-183.]

WANG DX, XU J, KONG ZQ, 2018. Microscopic identification and integrated control of *Fusarium wilt* of gourd [J]. Pestic Mar News, (9): 56-57. [王迪轩, 徐军, 孔志强, 2018. 瓠瓜枯萎病的显微镜检识别与综合防治[J]. 农药市场信息, (9)： 56-57.]
XING NL, ZHANG LC, YING QS, et al., 2016. Effect of grafting on DNA Methylation level of calabash rootstock and watermelon scion [J]. Acta Agric Jiangxi, 28(9): 27-30. [邢乃林, 张蕾琛, 应泉盛, 等, 2016. 嫁接对葫芦砧木及西瓜接穗甲基化水平的影响[J]. 江西农业学报, 28(9):27-30.]
XU JH, HUANG DF, ZHI YE, 2004. Rwlationship of PAL activity and transfer of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in grafted watermelon [J]. J Shanghai Jiaotong Uni(Agric Sci Ed), 22(1): 12-16. [徐敬华, 黄丹枫, 支月娥, 2004. PAL 活性与嫁接西瓜枯萎病抗性传递的相关性 [J]. 上海交通大学学报（农业科学版）, 22(1):12-16.]
YANG XP, LIU G, HOU XL, et al., 2013. Association analysis of *Fusarium wilt* resistance of core collection of watermelon germplasms based on SRAP markers [J]. Acta Hortic Sin, 40(7): 1298-1308. [羊杏平, 刘广, 侯喜林, 等, 2013. 西瓜核心种质枯萎病抗性与 SRAP 分子标记的关联分析[J]. 园艺学报, 40(7):1298-1308.]
YIN XX, 2014. Effects of aerated irrigation on soil organic environment of tomato root zone in greenhouse [D]. Yangling: Northwest A & F University. [尹晓霞, 2004. 加气灌溉对温室番茄根区土壤环境及产量的影响研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学.]
LIN YH, CHEN KS, CHANG JY, et al., 2010. Development of the molecular methods for rapid detection and differentiation of *Fusarium oxysporum* and E *oxysporum* f. sp. *niveum* in Taiwan [J]. New Biol, 27: 409-418.
ZHANG ZH, WU Y, JING YP, et al., 2017. Introduction, screening and evaluation of Lagenaria siceraria (Molina) Standl. germplasm resources [J]. J S Agric, 48(6): 966-972. [张兆辉, 吴压, 姜玉萍, 等, 2017. 瓠瓜种质资源的引进筛选与评价[J]. 南方农业学报, 48(6):966-972.]